

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



T E S I S

**EFFECTO DE LA COMPETENCIA EN EL CRECIMIENTO DE
VARIABLES DASOMÉTRICAS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.
EN EL SUR DE NUEVO LEÓN, MÉXICO**

POR

ING. ANALÍ CELENE RODRÍGUEZ ALEMÁN

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

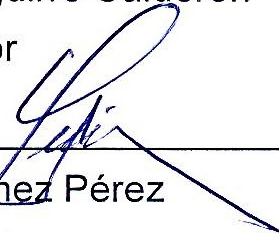
NOVIEMBRE, 2017

**EFFECTO DE LA COMPETENCIA EN EL CRECIMIENTO DE
VARIABLES DASOMÉTRICAS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.
EN EL SUR DE NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

Aprobación de Tesis



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Director



Dr. Javier Jiménez Pérez
Co-director



Dr. Marco Aurelio González Tagle
Asesor

Noviembre, 2017

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgarme la oportunidad de financiar mis estudios profesionales.

A la Facultad de Ciencias Forestales por ser una Institución de excelencia, al personal docente quienes entregan su trabajo, dedicándose día a día a la ciencia y transmitiendo acertadamente sus conocimientos y experiencias. Al personal administrativo por todo su apoyo, sus atenciones y facilidades brindadas durante mis estudios.

Al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón por su dirección en la investigación, por sus consejos, sus opiniones siempre tan atinadas, y sobre todo por su amistad.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez por sus comentarios y sugerencias que fueron indispensables para enriquecer en gran medida el presente trabajo.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle por su valiosa asesoría, sugerencias, recomendaciones en la mejora del presente trabajo y por su amable disponibilidad siempre mostrada.

Al Ejido Corona del Rosal por las facilidades y la disponibilidad de permitirme realizar el trabajo de campo.

DEDICATORIAS

A Dios porque aún sin darme cuenta ha estado conmigo en todo momento. Por compartirme su sabiduría y dirigir mi camino para alcanzar mis objetivos. Porque tomó y colocó mis preocupaciones en sus manos, acogiéndome siempre en su amor y esperanza y porque a pesar de cualquier adversidad no me soltara de su mano en ningún momento.

A mi querida y adorada abuelita Luisa (†) el ser más amoroso y bueno sobre la tierra, gracias por tanto y tanto amor siempre será mi ángel que desde el cielo me cuida y mi mayor inspiración en la vida...

A mis padres Sra. Yolanda Alemán Aragón y Sr. José Román Rodríguez Pérez merecedores de mi más grande admiración y respeto, gracias por sus enseñanzas, por su dedicación, por su paciencia pero sobre todo por su confianza, por compartir conmigo mis triunfos y ser mi inspiración continua en el alcance y logros de nuevas metas. ¡Infinitas gracias los AMO!

A mis hermanas Jazmín, Karen y *a mi hermanito* Román gracias por cada uno de los momentos compartidos conmigo y darme la oportunidad de ser su consejera a pesar de las diferencias entre nosotros el amor de hermanos siempre estará presente.

A mis sobrinos Evercito y Jorgito gracias porque son mi alegría de vivir, por quienes me he motivado a mejorar día a día y porque gracias a ellos puedo sonreír ante cualquier situación, por muy difícil que ésta fuera. ¡Gracias por compartir conmigo su inocencia!

A Edgar, mi compañero de retos y aventuras, gracias por ser mi complemento ideal, mi apoyo incondicional, por ser parte importante en este proceso y por estar siempre, siempre a mi lado formando entre los dos uno solo. ¡Dios te bendiga infinitamente!

A mis compañeros y amigos Fátima, Chuy, Diana y René quienes forman parte muy importante de mi vida, gracias por su confianza, apoyo, sus opiniones y sobre todo por brindarme su valiosa amistad.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS	3
3. OBJETIVOS	3
3.1 General	3
3.2 Específicos.....	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Índices de competencia	4
4.1.1 Índices independientes de la distancia.....	5
4.1.2 Índices dependientes de la distancia	5
4.2 Criterios de selección de competidores	5
4.3 Modelos de crecimiento forestal	6
4.4 Descripción de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. Var. <i>pseudostrobus</i> ...	7
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
5.1 Descripción del área de estudio.....	10
5.1.1 Antecedentes de manejo forestal en el área de estudio	10
5.1.2 Aprovechamiento forestal	11
5.2 Características físicas	11

5.2.1 Fisiografía	11
5.2.2 Topografía.....	11
5.2.3 Clima.....	12
5.2.4 Suelos	12
5.2.5 Vegetación	12
5.3 Metodología	12
5.3.1 Muestreo y levantamiento de información.....	12
5.3.2 Criterios de selección de competidores	13
5.3.3 Descripción dasométrica.....	15
5.4 Evaluación de la competencia	16
5.4.1 Índices de competencia analizados	16
5.4.2 Modelos analizados	17
5.4.3 Criterios de selección de los modelos.....	18
6. RESULTADOS.....	19
6.1 Criterios de selección de competidores	20
6.2 Evaluación de la competencia	20
7. DISCUSIÓN	30
8. CONCLUSIONES.....	31
9. REFERENCIAS.....	32

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Expresión matemática de los índices de competencia dependientes de la distancia	16
Cuadro 2. Valores de los estadísticos descriptivos de la base de datos utilizada de <i>Pinus pseudostrobus</i>	19
Cuadro 3. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para el índice de competencia IC3.....	20
Cuadro 4. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para el índice de competencia IC4.....	22
Cuadro 5. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para el índice de competencia IC5.....	24
Cuadro 6. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para cada índice de competencia IC3.....	25
Cuadro 7. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para cada índice de competencia IC4.....	27
Cuadro 8. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para cada índice de competencia IC5.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio Ejido Corona del Rosal	10
Figura 2. Esquema del proceso de selección de los competidores bajo el esquema de los cuatro vecinos más cercanos.....	14
Figura 3. Esquema del proceso de selección de los competidores activos según el concepto de ángulo de eliminación de competencia (Lee y Gadow, 1997).....	15
Figura 4. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC3 (Alemdag).	22
Figura 5. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC4 (Braathe).....	23
Figura 6. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC5 (Daniels).	25
Figura 7. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC3 (Alemdag).	26
Figura 8. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC4 (Brathee).....	28
Figura 9. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC5 (Daniels)	29

RESUMEN

En el presente trabajo se determina el efecto que ejerce la competencia sobre el crecimiento en área basal en árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en rodales puros en el sur de Nuevo León, México. Los datos fueron obtenidos de 53 sitios de muestreo completamente al azar de 400, 500 y 1000 mts² mismos de donde se obtuvieron las variables dasométricas: diámetro normal, altura total, altura de fuste limpio y diámetro de copa así como distancia entre árboles y la ubicación espacial de los mismos, el efecto de la competencia fue analizado mediante 6 índices de competencia dependientes de la distancia evaluándose también para estos 3 criterios de selección de árboles competidores.

Se encontró que los mejores resultados los proporciono el índice de competencia **IC1** Alemdag (1978), para los dos criterios de selección utilizados ya que fue el índice que mejor explicó la relación crecimiento-índice de competencia con un coeficiente de determinación que oscila entre 0.20 y 0.52%, seguido del índice desarrollado por Braathe (1980) el cual explica entre un 0.14 y 0.33% el efecto de la competencia sobre el crecimiento en área basal (IG) y finalmente los resultados más bajos y por lo tanto menos confiables los obtuvo el índice de Daniels *et. al* 1989 el cual proporciono tan solo entre un 0.11 y 0.18% para explicar dicha relación.

Palabras clave: Crecimiento, Competencia, Índices de competencia, Criterios de selección.

ABSTRACT

In the present work, we determine the effect of competition on growth in the basal area of *Pinus pseudostrobus* Lindl trees. In pure stands in the south of Nuevo León, Mexico.

The data were obtained from 53 random sampling sites of 400, 500 and 1000 mts² from which the dasometric variables were obtained: normal diameter, total height, clean shaft height and cup diameter as well as distance between trees and The competition effect was analyzed by 6 distance-dependent competition indices, and the 3 criteria for selecting competing trees were also evaluated.

It was found that the best results were provided by the IC1 competition index Alemdag (1978), for the two selection criteria used since it was the index that best explained the growth-index relationship of competence with a coefficient of determination that ranges between 0.20 and 0.42%, followed by the index developed by Braathe (1980) which explains between 0.14 and 0.33% the effect of competition on growth in basal area (GI) and finally the lowest and therefore less reliable results were obtained Index of Daniels et., To 1989 which provided only between 0.11 and 0.18% to explain such relationship.

Key words: Growth, Competition, Competition indices, Selection criteria.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de un árbol está determinado por la interacción entre dos componentes antagónicos, por un lado están los factores bióticos que dependen principalmente de las actividades fotosintéticas y la absorción de nutrientes, por el lado opuesto se encuentran los factores abióticos, restricciones al crecimiento impuestos por el entorno en el que se desarrolla un individuo (competencia existente por la disponibilidad de recursos, estrés y mecanismos de autorregulación); también contribuye al crecimiento y desarrollo de un árbol la variedad de especies presentes en un área determinada, la calidad de sitio y el número de individuos por unidad de área (Curtis, 1970).

Los árboles requieren mucho más que incrementar su volumen cuando crecen, pues tienen la capacidad de responder y ajustarse a cambios en su ambiente, que se manifiesta en patrones de dinámica muy variados. Pese que se desconocen muchos de los detalles de cómo se regulan estos procesos de adaptación, pero se acepta que uno de los factores que más influye sobre el crecimiento de un árbol es la interacción espacial con otros árboles (Waring y Running, 1998).

La competencia se define como la obstrucción física al desarrollo de otro árbol que está tan próximo como para limitar la expansión de su copa (Gadow y Hui, 1999). La competencia entre los árboles se verifica cuando la disponibilidad de recursos cae por debajo de la suma de las demandas de la población para el crecimiento óptimo (Brand y Magnussen. 1988).

El conocimiento del efecto de la competencia por los recursos sobre el crecimiento y producción de las especies forestales, expresada a través de los índices de competencia, es una herramienta de gran importancia para una correcta gestión del medio forestal (Vázquez *et al.*, 2003). Por lo tanto, la estimación de la competencia es de suma importancia para modelar el crecimiento y rendimiento en bosques naturales con objeto de aplicar un manejo más racional y predecir con precisión la dinámica de crecimiento de los bosques.

En la toma de decisiones del manejo forestal, es indispensable conocer los patrones de crecimiento y rendimiento del bosque para poder definir su comportamiento a través del tiempo. La predicción del crecimiento puede ser obtenida con base a modelos de crecimiento (Valadez, 2004). Una buena planificación del manejo forestal requiere proyecciones confiables de crecimiento y rendimiento (Pimienta, 2005).

Los modelos son un sistema diseñado para proporcionar descripciones cuantitativas del desarrollo de rodales en un periodo de tiempo determinado y bajo algunas condiciones y tratamientos silvícolas específicos (García, 1994). Para describir el efecto de la competencia se han empleado modelos de árbol individual dependientes o independientes de la distancia.

2. HIPÓTESIS

El crecimiento de árboles forestales se puede predecir a través de índices de competencia dependientes de la distancia.

3. OBJETIVOS

3.1 General

Evaluar el efecto de la competencia en el crecimiento de las variables dasométricas de *Pinus pseudostrobus* mediante índices de competencia dependientes de la distancia.

3.2 Específicos

- Determinar el criterio de selección más apropiado para evaluar la competencia
- Identificar y seleccionar el mejor índice de competencia dependiente de la distancia para la especie objeto de estudio
- Evaluar a través de modelos de crecimiento los índices de competencia dependientes de la distancia, que permitan modelar el crecimiento del bosque.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Índices de competencia

Los índices de competencia se emplean para predecir el crecimiento del árbol con modelos empíricos, indicando el estado "competitivo del árbol sujeto con respecto a los competidores vecinos" (O'Neal *et al.*, 1994; Torres-Rojo, 2000). Estos índices son fórmulas matemáticas que relacionan diversas características de un árbol y de sus competidores para tratar de predecir el crecimiento del individuo (Jerez *et al.*, 1999), tratando de asignar un valor a la influencia que sobre el espacio vital de un árbol de referencia ejercen los árboles que le rodean (Álvarez, 2003).

Teóricamente, un índice de competencia relaciona la dimensión y el espaciamiento de los árboles que se encuentran compitiendo por recursos (Torres-Rojo, 2000). Un uso importante de estos índices, es proyectar el crecimiento de los árboles en el rodal forestal con base en la competencia presente. Generalmente expresan valores relativos, como la relación del área basal del rodal con el área basal de cada árbol dentro de una zona de competencia; ya sea empleando ciertos atributos de los árboles, en este caso longitudes y amplitudes de copa, alturas, o bien, índices no tan simples que consideran la distancia de los vecinos más cercanos para posteriormente estudiar su relación con el crecimiento potencial y la mortalidad (Valles e Islas, 2000).

Pese a que todavía es muy escasa la información que determina los mecanismos que regulan los procesos de competencia y adaptación de los árboles a ésta, uno de los efectos de la competencia que más afecta al crecimiento de un árbol es la interacción espacial con otros árboles (Gadow *et al.*, 2001). Una forma de medir esta interacción es a través de la utilización de índices.

Un índice de competencia se considera como aquel que estima la competencia total a la que se ve afectado el crecimiento de un árbol (Biging y Dobbertin,

1992). Generalmente se consideran dos tipos de índices de competencia, índices independientes de la distancia y dependientes de la distancia (Munro, 1974).

4.1.1 Índices independientes de la distancia

Estos índices no tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles, por lo que no requieren la obtención de las coordenadas de los mismos. Los efectos de la competencia se introducen a través de funciones simples de las variables de masa o de dimensiones de los individuos.

4.1.2 Índices dependientes de la distancia

Son índices que suelen incorporar el número, dimensiones, medidas de distancia o de tamaño entre el árbol base y sus competidores (Tome y Burkhart, 1989; Jerez *et al.*, 1999). Estos índices consideran la distribución espacial de los árboles (Cao, 2000). También incluyen diámetro, a veces altura y dimensiones de copa, para todos los árboles en una parcela de muestra (García, 2003).

Los índices dependientes de la distancia se pueden dividir en grupos (Doyle, 1983): 1) índices basados en razones de tamaños ponderados por las distancias, 2) índices basados en la superposición de las copas o de las zonas de influencia de cada árbol y 3) índices basados en el espacio disponible para el crecimiento, 4) índices basados en el efecto de la sombra y la constricción sobre el crecimiento de un árbol (Vanclay, 1994).

4.2 Criterios de selección de competidores

El valor de un índice de competencia depende tanto de su formulación matemática como del método utilizado para definir los vecinos como competidores (Bigging y Dobbertin, 1992). Se han propuesto varios métodos para elegir los árboles que compiten con un árbol determinado. Algunos de ellos consideran competidores a todos los árboles incluidos en un círculo de radio fijo

centrado en el árbol objetivo (Hegyi, 1974). Otros métodos se basan en radios variables, normalmente ponderados por las dimensiones del árbol objetivo y sus competidores, por ejemplo el diámetro o la altura (Daniels, 1976, Ford y Diggle, 1981), y otros combinan dos o más criterios diferentes (Biggin y Dobbertin, 1992).

4.3 Modelos de crecimiento forestal

Los modelos matemáticos son procedimientos simbólicos que describen a través de ecuaciones matemáticas el funcionamiento de un sistema (López, 2003). Los modelos representan una expresión promedio de cómo se desarrollan los árboles y las variaciones que experimentan al modificarse la estructura de los rodales (Oliver y Larson, 1990).

Los modelos de crecimiento predicen el incremento y tamaño futuro del diámetro del fuste o del área basal. Específicamente no hay una ecuación determinada para modelar el crecimiento del árbol, eso depende de otros aspectos como la especie, condiciones del sitio, densidad, tamaño de los individuos, aspectos genéticos, etc. (Vanclay 1995), y son una de las herramientas analíticas más utilizadas en la actualidad para la generación de conocimientos en el área del crecimiento y producción de masas forestales; ya que representan los procesos de dinámica que ocurren a nivel de árbol individual o del rodal (López, 2003).

Una característica destacable de los modelos de crecimiento es la capacidad de ajuste con precisión a diferentes conjuntos de datos (Andenmatten y Letourneau, 2002). Como es conocido, la evolución de las variables de un árbol o de un rodal a lo largo del tiempo sigue un patrón definido y estable conocido como curva sigmoide, cuyas características principales es un punto de inflexión y una asíntota, el primero corresponde al máximo crecimiento y el segundo representa el máximo tamaño que puede alcanzar la variable (De los Ríos, 2003).

Zepeda, 1990 determinó que el crecimiento y rendimiento de un bosque, puede ser modelado a través de tres niveles básicos

- con modelos para la totalidad del rodal
- con modelos de distribuciones por clases de tamaño y
- con modelos para árboles individuales

Los modelos a nivel de rodal caracterizan el estado del rodal con unas pocas variables que representan agregados a nivel de rodal, tales como área basal, diámetro medio, volumen por hectárea, número de árboles por hectárea, espaciamiento medio, altura dominante, etc. (García, 1994).

En el otro extremo, los modelos de árboles individuales dependientes de la distancia incluyen la ubicación (coordenadas) y diámetro, y a veces altura y dimensiones de copa, para todos los árboles en una parcela de muestra. Por lo contrario los modelos de árboles individuales independientes de distancia no requieren de coordenadas y usan distribuciones diamétricas de varias formas y tamaños (García, 1994).

Se han utilizado una gran variedad de ecuaciones para modelar el crecimiento de los árboles y las masas forestales, desde los más sencillos hasta los más complejos, que describen el crecimiento de árboles individuales, en los que intervienen, además de la edad, muchas variables independientes (Kiviste *et al.*, 2001; citado por De los Ríos, 2003).

4.4 Descripción de la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. Var. *pseudostrobus*

Sinónimos: *Pinus estevezii* (Martínez) J. P. Perry; *Pinus nubicola* J. P. Perry; *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *coatepecensis* Martínez; *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *estevezii* Martínez; *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *laubenfelsii* Silba; *Pinus yecorensis* Debreczy & Rácz

Nombre Común: Pino blanco, Pino mechudo.

Árbol, tronco monopódico, recto, 10-25 m altura; corteza café-grisácea a café-rojiza oscura, lisa por mucho tiempo, pero partiéndose en escamas alargadas o placas anchas separadas por surcos anchos con la edad; copa cilíndrica o redondeada, densa o abierta, con numerosas ramas, delgadas, anguladas o esparcidas, con abundante follaje extendido o en ocasiones flácido y penduloso en las puntas, a manera de “mechas” (pelo colgante); ramillas delgadas, lisas, con las bases de las hojas decurrentes, café-rojizas, evidentemente azul cerosas al inicio, glabras; hojas en grupos de 5, raramente en 4, 6 u 8, 18-35 cm largo, 0.8-1.3 mm ancho, rectas, flexibles, rara vez rígidas, variadamente colgantes, amarillo-verdoso oscuro a verde brillante, en ocasiones azul-verde ceroso; vaina 20-35 mm largo, persistente y cayendo con el fascículo; conos femeninos 7-18 cm largo, 6-13 cm ancho, solitarios o en pares, raras veces en verticilos de 3-4, corto pedunculados, el pedúnculo robusto hasta 1 cm largo, generalmente anchos o angostamente ovoides a cilíndricos, usualmente simétricos y ligeramente curvados; escamas 100-200, gruesas y rígidas, leñosas, verdes antes de madurar, tornándose café-amarillento brillante u opaco a café rojizo con la edad, apófisis ligera o medianamente levantada, café opaca, grisácea con la edad, umbo obtuso, con una espina pequeña y frágil, algunas escamas se quedan adheridas a la rama cuando el cono se desprende del pedúnculo; semillas 5-7 mm largo, 3-4.5 mm ancho, aladas; ala 20-25 mm largo, 7-10 mm ancho, adherida y cubriendo un lado de la semilla. *Pinus pseudostrobus* var. *pseudostrobus* es el pino más frecuente en las zonas frescas y templadas de Nuevo León, especialmente en el centro y en el sur, donde hay climas húmedos, forma grandes extensiones de bosques asociados con otras especies de coníferas y encinos, entre los 1,300-2,600 m de altura. Frecuente en los Municipios de Santiago, Montemorelos, Allende, Iturbide, Rayones, Aramberri y Zaragoza. *Pinus pseudostrobus* es morfológicamente similar a *Pinus montezumae*, con el que frecuentemente se le confunde, pues habitan en condiciones ecológicas similares. Las características distintivas para diferenciarlos es con base en sus conos, los de *P. pseudostrobus* son más anchos, 1.5 veces más largos que anchos o en ocasiones casi tan largos como

anchos, con las apófisis ligera o fuertemente levantadas, en especial, de un lado del cono, mientras que los conos de *P. montezumae* son delgados y oblongos, dos o más veces más largos que anchos, asimétricos en la base, oblicuos, con las apófisis ligeramente levantadas. La palabra *pseudostrobus* alude del latín a “falso strobis” debido a sus acículas flexibles en grupos de 5, conos grandes con escamas flexibles y delgadas que evocan un ligero parecido a *Pinus strobus* (Estrada *et al.*, 2014).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en el Ejido Corona del Rosal ubicado en el municipio de Galeana, al sureste del estado de Nuevo León, ocupa una superficie de 6,646.42 ha. Administrativamente se encuentra dentro del área de influencia del Distrito de Desarrollo Rural Galeana y pertenece a la Unidad de Manejo Forestal (UMAFOR) 1901. Geográficamente se localiza entre los 24° 27' 23" y los 24° 32' 51" de latitud norte y entre los 99° 53' 54" y los 100° 01' 34" de longitud oeste (Figura 1).

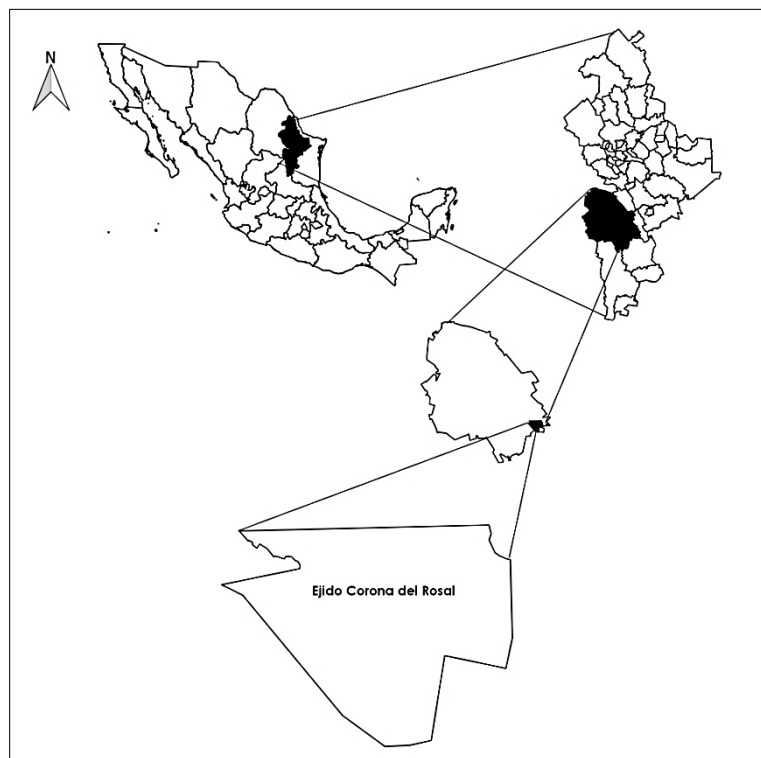


Figura 1. Ubicación del área de estudio Ejido Corona del Rosal

5.1.1 Antecedentes de manejo forestal en el área de estudio

En el año de 1991, para el Ejido Corona del Rosal se autorizó un permiso para el aprovechamiento de árboles derribados por un fenómeno meteorológico según Oficio número 7195101- 1324 (91), de fecha 22 de octubre de 1991, con un volumen de 360 m³ rta, de las especies de *Pinus pseudostrobus* y según

revisión hecha más a fondo, este predio no ha tenido aprovechamiento en los últimos 25 años por lo menos antes de que entrara en vigor el Programa de Manejo Forestal en 1995.

5.1.2 Aprovechamiento forestal

Las áreas arboladas dentro del ejido Corona del Rosal corresponden a 1,722 ha, y se encuentran sometidas al aprovechamiento forestal comercial. La posibilidad anual aproximadamente es de 6,000 m³. Las especies con valor comercial son *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, *Pinus cembroides* y *Quercus spp* (U.C.D.F.No.1 1996).

5.2 Características físicas

5.2.1 Fisiografía

El Ejido Corona del Rosal se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, la cual corre desde sus límites con la del Eje Neovolcánico en sentido paralelo a la costa del Golfo de México.

La subprovincia dentro de la cual se localiza el ejido, es la Gran Sierra Plegada, en ella dominan las capas plegadas de calizas con ejes estructurales predominantes de anticlinales y sinclinales, una gran falla inversa corre sobre los bordes orientales de la sierra en tanto se extienden más o menos paralelas a aquellas y a los ejes estructurales. También hay afloramientos yesíferos paralelos en el mismo sentido particularmente del lado occidental de la sierra y fosforitas.

5.2.2 Topografía

El terreno presenta una topografía muy irregular que incluye áreas planas con pendiente de 2 % hasta zonas abruptas que llegan a alcanzar hasta 100%.

El gradiente altitudinal es de 1620 m. siendo la menor altitud a 1540 msnm y los puntos con mayor altitud se encuentran en parajes conocidos como "El Infiernillo", "Las Bancas" y "La Zacatosa", que alcanzan hasta 3160 msnm.

5.2.3 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973), para la región el clima se define como el grupo de climas secos, del tipo semiseco, subtipo semiseco templado con verano cálido, con temperatura media anual entre 12°C y 18° C. Con temperatura del mes más frío entre -3°C y 18° C y la temperatura del mes más cálido mayor a 18° C. El régimen lluvias es de lluvias escasas todo el año y un porcentaje lluvias invernales menor del 18 % con respecto al total anual.

5.2.4 Suelos

En el área predominan los suelos someros, mismos que se encuentran en diversos grados de asociación, entre los que se distinguen los grupos Litosol, Rendzina y Regosol con una clase de textura media.

5.2.5 Vegetación

Los tipos de vegetación que se encuentran en el área son muy variados, predominando los chaparrales en distintos grados de asociación con bosques de clima templado y algunos matorrales. Se encuentran, además, bosques puros de pino, cuyas especies dominantes son *Pinus pseudostrobus*, en las partes altas y *Pinus cembroides*, en las partes bajas: bosques mezclados de pino-encino en diversos grados de asociación y por último áreas en donde se practica la agricultura de temporal y la inducción de pastizales para el pastoreo de ganado.

5.3 Metodología

5.3.1 Muestreo y levantamiento de información

Los datos del presente estudio se obtuvieron de la medición de 53 de sitios de muestreo de 400 m², 500 m² y 1000 m² distribuidos completamente al azar en

áreas donde predominan rodales puros de *Pinus pseudostrobus*., cada sitio fue georeferenciado debidamente, además se obtuvieron las variables dasométricas:

- diámetro normal (1.30 m),
- altura total,
- altura de fuste limpio,
- diámetro de copa.

También se extrajeron núcleos de crecimiento (virutas) con el taladro de Pressler para determinar la edad y el incremento en 10 años y se determinó la ubicación espacial de todos los árboles así como la distancia del punto central hacia cada uno de los individuos presentes por sitio.

Una vez elaborada la base de datos en el programa Microsoft Excel 2010 ® se realizó la evaluación de la competencia.

5.3.2 Criterios de selección de competidores

Para la selección de los competidores se emplearon tres criterios de selección que han sido ampliamente utilizados por autores como (Martínez Millán y Madrigal, 1982; Pukkala y Kolström, 1987; Holmes y Reed, 1991; Biging y Dobbertin, 1992; Mäkinen, 1997; Schröder y Gadow, 1999; Álvarez *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005, Colin, 2008) para realizar estudios semejantes. Los criterios fueron denominados con los códigos **C1, C2 y C3**.

El criterio **C1** selecciona como competidores activos a los cuatro árboles más cercanos al árbol objetivo (Figura 2).

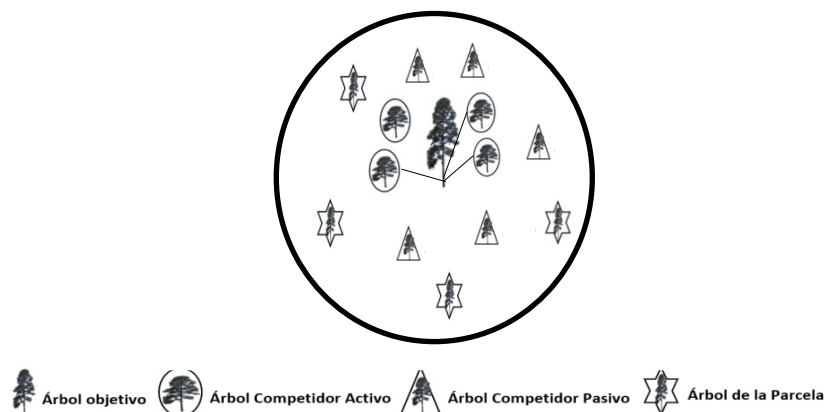


Figura 2. Esquema del proceso de selección de los competidores bajo el esquema de los cuatro vecinos más cercanos.

También se empleó el criterio de selección propuesto por Hegyi (1974) **C2**, el cual considera como competidores a todos los árboles incluidos dentro de un círculo con un radio de 10 pies (3.05 m) cuyo centro coincide con el árbol de referencia.

El **C3** fue el propuesto por Lee y Gadow (1997), quienes propusieron una nueva metodología de elección de competidores que sí tiene en cuenta la posición de los árboles seleccionados. Inicialmente se consideran competidores potenciales a todos los árboles incluidos dentro de un área denominada zona específica de competencia (CZ), que para cada árbol de referencia se define como un círculo de radio CZR (radio de la zona de competencia).

$$CZR = k \cdot \sqrt{\frac{10000}{N}}$$

Variables:

K = constante que define el radio de la zona de competencia ($2 < k < 4$)

N = número de árboles por ha.

Posteriormente, se selecciona como primer competidor activo el árbol más cercano al de referencia, descartando todos los demás que se encuentren situados detrás de él en un sector circular denominado sector de eliminación de competencia, que está definido por un cierto ángulo (α) denominado ángulo de eliminación de competencia (Figura 3).

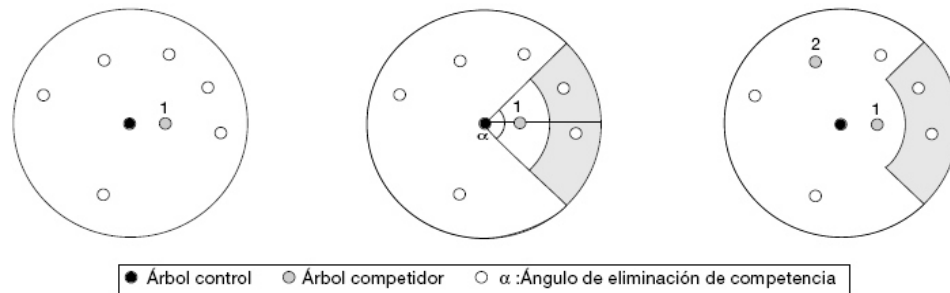


Figura 3. Esquema del proceso de selección de los competidores activos según el concepto de ángulo de eliminación de competencia (Lee y Gadow, 1997).

Se empleó un ángulo de eliminación de competencia de 45° , debido a la baja densidad de las parcelas, este ángulo de 45° se ha utilizado para realizar trabajos de similares características como el realizado por Pimienta (2003), quien evaluó índices de competencia dependientes de la distancia en la región de El Salto, Durango, así como Álvarez (2003), en Galicia, España, que analizó 10 técnicas diferentes de elección de competidores y obtuvo los mejores resultados con este método, empleando un ángulo de eliminación de competencia de 45° .

Una vez determinado el CZR y el ángulo de eliminación de competencia, se procedió a seleccionar los competidores, el procedimiento se realizó de manera iterativa para cada uno de los árboles próximos al de referencia, desplazando el ángulo y el sector de eliminación de competencia hasta cubrir toda el área de influencia.

5.3.3 Descripción dasométrica

a) Edad promedio

La edad se calculó a partir del conteo de anillos de crecimiento presentes en cada una de las muestras extraídas en campo con el taladro de Pressler.

b) Área basal

El área basal se calculó mediante la fórmula específica para determinar dicha variable, donde el valor de diámetro normal se sustituyó por el incremento que

tuvo el árbol en los primeros 10 años, mismo que se dividió entre 100 para obtenerlo en metros.

$$G = \left(\frac{\pi}{4}\right) (\text{inc } 10/100)$$

donde: inc = incremento a los 10 años de edad.

5.4 Evaluación de la competencia

5.4.1 Índices de competencia analizados

Una vez determinados los árboles competidores de cada sitio, se evaluaron los siguientes índices de competencia dependientes de la distancia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Expresión matemática de los índices de competencia dependientes de la distancia

Donde dj: diámetro normal del árbol competidor, Distij: distancia en proyección horizontal entre el árbol control y el árbol competidor (m), CCi: superficie de copa en proyección horizontal del árbol control (m²),

Índice	Origen	Expresión
IC1	ÍNDICE DE ÁREA DE COPA	$\sum_{i \neq j} (CC_j) / (CC_i (Dist_{ij}))$
IC2	BIGING & DOBBERTIN (1992)	$\sum_{j=1}^n CC_j / (CC_i (Dist_{ij} + 1))$
IC3	ALEMDAG (1978)	$\sum_{i \neq j} \{ \pi [(Dist_{ij} d_i) / (d_i + d_j)]^2 (d_j / Dist_{ij}) / \sum (d_j / Dist_{ij}) \}$
IC4	BRAATHE (1980)	$\sum_{i \neq j} h_i / (h_j Dist_{ij})$
IC5	DANIELS et al. (1986)	$(d_i^2 n) / \sum_{i \neq j} d_j^2$
IC6	HEGYI (1974)	$\sum_{i \neq j} d_j / (d_i Dist_{ij})$

CCj: superficie de copa en proyección horizontal del árbol competidor (m²), n: número de árboles competidores, hi: altura total del árbol seleccionado (m), hj: altura total del árbol competidor (m).

La selección del mejor índice de competencia dependiente de la distancia fue con base en los estadísticos del análisis de regresión obtenido de los modelos de crecimiento compatibles con los diferentes índices de competencia, los cuales presentaron buena calidad de ajuste.

Cabe destacar que los estadísticos de ajuste que se consideraron (cuadrado medio del error y coeficiente de determinación), han sido empleados por varios autores en estudios anteriores para la evaluación de índices de competencia con objeto de cuantificar su capacidad de describir la interacción entre árboles. (Martin y Ek, 1984; Tomé y Burkhart, 1989; Biging y Dobbertin, 1992; Valles e Islas, 2000; Valles *et al*, 2003; Valadez, 2004 y Pimienta, 2003) y, entre otros.

5.4.2 Modelos analizados

Para analizar la influencia que los distintos índices de competencia tienen en el crecimiento en área basal de los árboles de *Pinus pseudostrobus*, se establecieron entre índices de competencia y criterios de selección de competidores, relaciones crecimiento-índice de competencia de tipo lineal simple, exponencial y potencial mediante los modelos de crecimiento más utilizados en el ámbito forestal.

Los modelos fueron ajustados empleando el software estadístico STATISTICA® para corroborar su eficiencia con respecto a la competencia.

$$\Delta\gamma = ae^{b/t^c} \quad (1)$$

$$\Delta\gamma = a(1 - e^{-bt})^c \quad (2)$$

$$\Delta\gamma = ae^{-b^{-ct}} \quad (3)$$

$$\Delta\gamma = ae^{-bt^{-c}} \quad (4)$$

$$\Delta\gamma = a/(-1 + ce^{-bt}) \quad (5)$$

$$\Delta\gamma = a(1 - e^{-bt}) \quad (6)$$

$$\Delta\gamma = t^c / (b + t^c / a) \quad (7)$$

$$\Delta\gamma = at^d / (b + t^d) + c \quad (8)$$

$$\Delta\gamma = a_0 + a_1 \cdot \log(d) \quad (9)$$

$$\Delta\gamma = a_0 + a_1 \cdot d + a_2 \cdot d^2 \quad (10)$$

$$\Delta\gamma = 1.3 + \frac{d^2}{a_1 + a_2 \cdot d + a_2 \cdot d^2} \quad (11)$$

$$\Delta\gamma = 1.3 + \left(\frac{d}{a_0 + a_1 \cdot d} \right)^2 \quad (12)$$

$$\Delta\gamma = e^{(a_0 + a_1 \cdot \ln(d) + a_2 \cdot \ln(d^2))} \quad (13)$$

$$\Delta\gamma = e^{(a_0 + a_1 \cdot \ln(d) + a_2 \cdot d)} \quad (14)$$

$$\Delta\gamma = e^{(a_0 + a_1 / d + a_2 / d^2)} \quad (15)$$

$$\Delta\gamma = a(1 - e^{-bt})^3 \quad (16)$$

$$\Delta\gamma = ae^{-bce^{td}} \quad (17)$$

Donde $\Delta\gamma$ es la variable a modelizar (incremento en área basal durante un periodo de 10 años), log = Logaritmo base 10; ln = Logaritmo natural; e = Exponencial t= es un índice de competencia dependiente de la distancia con un criterio de selección de competidores, y a, b, c, d son los parámetros a estimar en los ajustes.

5.4.3 Criterios de selección de los modelos

La capacidad de ajuste de los modelos se evaluó mediante dos de los estadísticos utilizados con mayor frecuencia durante la generación de modelos forestales (Prodan *et al.*, 1997; Gadov y Hui, 1999; Castedo y Álvarez, 2000; Diéguez *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2007): coeficiente de determinación

(R^2) y raíz del error medio cuadrático (CME). Las expresiones de estos estadísticos se muestran a continuación:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (18)$$

$$CME = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \quad (19)$$

donde:

y_i = Valor observado de la variable dependiente
 \hat{y}_i = valor predicho por el modelo
 \bar{Y} =valor medio de la variable dependiente
 n = número de datos usados en el ajuste del modelo
 p =parámetros del modelo

El coeficiente de determinación ajustado R^2 refleja la variabilidad total explicada por el modelo, con base en el número total de parámetros a estimar y el CME de un estimador mide el promedio de los errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre el estimador y lo que se estima.

6. RESULTADOS

En el Cuadro 2 se muestra el resumen de los estadísticos descriptivos de la base de datos utilizada para para determinar la relación crecimiento-índice de competencia, en el cual se muestran la media, mínimos y máximos de las principales variables.

Cuadro 2. Valores de los estadísticos descriptivos de la base de datos utilizada de *Pinus pseudostrobus*.

	DN	HT	HFL	DC	DIST	IG
MEAN	24.5	12.8	7.6	2.3	8.0	0.00020846
MAX	76.1	26	19	13.2	16.5	0.00132026
MIN	5	2.4	0.93	0.0625	0	7.07E-06

STD	13.92	5.76	4.67	2.05	5.90	0.00021744
CV	56.76	44.98	60.72	86.46	73.71	104.308956

Dónde: MEAN=media, MAX=Máximos, MIN= mínimos, STD= desviación estándar, CV= coeficiente de variación.

6.1 Criterios de selección de competidores

Realizado el procedimiento para evaluar los tres criterios de selección de competidores establecidos, se determinó que solamente podían ser utilizados el **C1** y el **C2** ya que el **C3** propuesto por Lee y Gadow (1997) no se pudo emplear debido a que el radio de la zona de eliminación de competencia es muy amplia para aplicar en las parcelas en estudio por la baja densidad y alta dispersión existente.

6.2 Evaluación de la competencia

De los seis índices de competencia analizados solamente el **IC3**, **IC4** e **IC5** fueron los que presentaron resultados favorables para la relación crecimiento-índice de competencia, el resto no fue compatible con los modelos para predecir el incremento en área basal (IG).

De acuerdo al procedimiento estadístico y los resultados obtenidos con el criterio de selección de competidores **C1** el índice de competencia **IC3** Alemdag mostro una buena eficiencia el incremento en área basal (IG), ya que presentó los valores más altos en el coeficiente R^2 en comparación con los otros dos índices, explicando entre un 47% y un 52% del IG en función de la competencia.

En el Cuadro 3 se muestran los estadísticos correspondientes a cada uno de los modelos compatibles para el índice de competencia **IC3**.

Cuadro 3. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para el índice de competencia **IC3**.

Modelo	CME	R^2	Parámetro	Estimador	Err std aprox
1	0.000004	0.51	a	0.03898	0.249552

			b	-5.38676	6.976551
			c	0.14053	0.188736
5	0.000004	0.48	a	-0.00035	0.000042
			b	-3.31483	0.487916
			c	-1.26706	0.298695
9	0.000006	0.47	a	0.000203	0.00
			b	0.000112	0.00
			a	0.000025	0.000014
10	0.000004	0.52	b	0.000162	0.000027
			c	-0.000013	0.000000
13	0.000004	0.51	a	-8.65356	0.038727
			b	16.22026	0.051601
			c	-7.73428	0.000000
15	0.000004	0.49	a	-7.67010	0.059713
			b	-0.94831	0.084166
			c	0.08094	0.011444

El modelo seleccionado para predecir el crecimiento en (IG) en relación con el índice de competencia fue el modelo 1 el cual presenta los mejores estadísticos de ajuste.

En la figura 4 se presenta de manera gráfica la tendencia del modelo seleccionado, la relación muestra los valores observados contra los estimados por el modelo, donde se observa que la línea sigue un patrón definido de crecimiento es decir a mayor índice de competencia hay un mayor crecimiento en área basal dentro del área, debido a que existen distancias muy marcadas entre el árbol central y los competidores.



Figura 4. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC3 (Alemdag).

Los modelos ajustados incorporados al índice de competencia analizado (Braathe 1980) **IC4** mostraron valores relativamente buenos en los coeficientes de determinación (R^2), los cuales explican de un 25 a un 33% el incremento en área basal en función de la competencia el modelo que presento la mejor bondad de ajuste de acuerdo a sus parámetros fue el modelo 1 mismo que se representó de manera gráfica.

El Cuadro 4 muestra los valores de los estimadores de los modelos compatibles para determinar la relación crecimiento-índice de competencia **IC4** (BRAATHE 1980).

Cuadro 4. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para el índice de competencia **IC4**.

Modelo	CME	R^2	Parámetro	Estimador	Err std aprox
1	0.000003	0.29	a	0.000000	0.00000
			b	6.346664	14.33760
			c	0.089232	0.20611
8	0.000003	0.30	a	0.071170	428.369
			d	-0.008440	29.860
			b	0.322706	1556.173
			c	-0.053575	388.474
9	0.000005	0.30	a	0.000231	0.00
			b	-0.000111	0.00
10	0.000003	0.25	a	0.000284	0.000014
			b	-0.000062	0.000000
			c	0.000003	0.000000
13	0.000003	0.29	a	-8.4236	0.036341
			b	-60.0919	0.054313
			c	29.7553	0.000000
14	0.000004	0.33	a	-7.66650	0.196078
			b	0.10294	0.187146
			c	-0.63238	0.168879
15	0.000003	0.29	a	-9.56334	0.124294
			b	1.52181	0.184267
			c	-0.33965	0.055616



Figura 5. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC4 (Braathe).

En la figura anterior (figura 5) se observa gráficamente que a medida que aumente la competencia, el incremento en área basal disminuye.

En sentido contrario y en el mayor de los casos, cuando el área basal incrementa indica que el índice de competencia es menor, esto debido a que los nutrientes son más abundantes cuando hay menos competencia.

Con respecto a la evaluación del índice de competencia Daniels *et. al* (1989), los modelos que presentaron mejores ajustes fueron el 1 y el 9 ya que presentan valores muy similares en los estadísticos de ajuste lo cual determina que se puede emplear cualquiera de los dos, debido a que ambos son significativos considerablemente y presentan poca variación en el CME mostrando un 0.00003 y 0.000005 respectivamente (Cuadro 5). Sin embargo en este caso se eligió el modelo 1 para fines representativos.

Cuadro 5. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para el índice de competencia **IC5**.

Modelo	CME	R ²	Parámetro	Estimador	Err std aprox
1	0.000003	0.18	a	0.00025	0.000026
			b	-0.18635	0.112547
			c	-1.05305	0.348961
7	0.000003	0.15	a	-1.31766	192345.1
			b	0.00018	0.0
			c	-1.07732	192345.1
			d	0.002	0.0020
9	0.000005	0.17	a	0.000190	0.00
			b	-0.000047	0.00
10	0.000006	0.16	a	0.000221	0.000010
			b	-0.000021	0.000000
			c	0.000000	0.000000
13	0.000003	0.15	a	-8.6097	0.042706
			b	-74.6951	0.035736
			c	37.2273	0.000000
14	0.000003	0.18	a	-8.26202	0.106387
			b	0.02134	0.082143
			c	-0.21822	0.072398

Gráficamente se observa que conforme aumenta la competencia, el incremento en área basal disminuye, la razón de ello es que a medida que la competencia es mayor las restricciones aumentan. Esta tendencia continúa hasta que finalmente los factores que favorecen y se oponen al crecimiento se igualan y logra estabilizarse la competencia, de esta manera la curva del modelo se va haciendo asintótica.



Figura 6. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC5 (Daniels).

Por lo que respecta al análisis estadístico para evaluar la competencia con base en los resultados obtenidos con el criterio de selección de competidores **C2** el índice de competencia **IC3** Alemdag es el que mostro los mejores estadísticos de ajuste, en los se obtuvo en la mayoría de los casos un coeficiente de determinación (R^2) de 0.26 y no presentan diferencias significativas en la variación del error medio cuadrático lo que indica que cualquiera de los modelos puede utilizarse para predecir el incremento en área basal (IG). Dichos valores se pueden constatar en la siguiente tabla (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para cada índice de competencia **IC3**.

Modelo	CME	R^2	Parámetro	Estimador	Err std aprox
5	0.000004	0.26	a	0.000052	0.000020
			c	1.094980	0.032796
6	0.000006	0.26	b	8.614743	1.933816
			a	-0.093557	5.201565
			b	-0.010086	0.597296
9	0.000005	0.20	a	0.000441	0.000035
			b	0.000134	0.000018
10	0.000004	0.26	a	0.000003	0.000038

			b	0.001035	0.000277
			c	-0.000270	0.000430
13	0.000004	0.26	a	-7.0835	0
			b	22.4640	2478910
14	0.000004		c	-10.7850	1239455
		0.26	a	-6.75388	0.828994
			b	1.04324	0.386770
			c	-0.44051	1.094669
16	0.000005	0.24	a	0.000513	0.000069
			b	6.393237	0.807740

A continuación en la Figura 7 se puede observar claramente que la nube de puntos sigue una tendencia ascendente que con base en las características del índice de competencia y el modelo seleccionado indica que a menor índice de competencia mayor área basal.



Figura 7. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC3 (Alemdag).

Para el índice de competencia **IC4** (Braathe 1980), se seleccionó el modelo 9 considerando no solo el valor en el coeficiente de determinación R^2 de 0.24 si no también que obtuvo los mejores resultados en sus parámetros. Sin embargo, se pueden emplear cualquiera de los modelos ya que se consideran buenos

predictores para modelar el IG en función de la competencia, lo anterior se corrobora al observar la varianza de los modelos los cuales presentan valores bajos en los CME.

Estos modelos explican un 19 a 27% la variación del incremento en área basal en función del índice de competencia empleado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para cada índice de competencia **IC4**.

Modelo	CME	R ²	Parámetro	Estimador	Err std aprox
1	0.000004	0.23	a	0.000007	0.000032
			b	3.392388	3.965516
			c	0.220370	0.240841
7	0.000004	0.23	a	-0.830	0.304
			b	4482.650	1043.291
			c	2.638	4145.110
8	0.000003	0.19	a	-0.165516	984.771
			d	-0.001307	4.519
			b	-0.318998	1548.240
			c	0.243291	893.553
9	0.000005	0.19	a	0.000242	0.000014
			b	-0.000149	0.000021
10	0.000003	0.14	a	0.000342	0.000028
			b	-0.000104	0.000020
			c	0.000006	0.000000
13	0.000004	0.23	a	-8.4081	0.064021
			b	-25.9149	0.093139
			c	12.5423	0.000000
14	0.000004	0.23	a	-8.42178	0.230326
			b	-0.84033	0.182457
			c	0.01215	0.197113
15	0.000003	0.20	a	-4.45799	0.034762
			b	-0.61925	0.000000
			c	0.83092	0.000000

En la figura 8 se representa gráficamente el ajuste del modelo seleccionado el cual determina que a mayor índice de competencia existe menor área basal.



Figura 8. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC4 (Brathee).

Para el índice de competencia **IC5** (Daniels *et. al* 1986), el modelo 9 es el que presento el mejor ajuste, mismo que obtuvo los valores más bajos en los estimadores y un valor significativo en el coeficiente de determinación en R^2 de 0.16, sin embargo se puede utilizar cualquiera de los modelos compatibles ya que explican entre un 16 y un 17% la relación incremento en función de la competencia (Cuadro 8). A excepción del modelo 10 el cual presento el valor más bajo y por lo tanto el menos confiable para predecir el incremento en área basal.

Cuadro 8. Valores de los parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento compatibles para cada índice de competencia **IC5**.

Modelo	CME	R ²	Parámetro	Estimador	Err std aprox
1	0.000003	0.15	a	0.00033	0.000069
			b	-0.27661	0.230880
			c	-1.03440	0.545209
5	0.000003	0.15	a	0.000150	0.000578
			b	1.517061	2.030849
			c	-0.095925	0.205148
7	0.000002	0.16	a	0.481	0.493

			b	2140.218	1638.273
			c	1.580	0.328
			d	0.001	0.000
9	0.000004	0.13	a	0.000213	0.000012
			b	-0.000056	0.000010
10	0.000006	0.12	a	0.000242	0.000015
			b	-0.000023	0.000000
			c	0.000000	0.000000
13	0.000003	0.11	a	-8.4914	0.058167
			b	39.3855	0.060019
			c	-19.8233	0.000000
14	0.000003	0.15	a	-7.93733	0.205270
			b	0.21485	0.183413
			c	-0.40478	0.163146

En la siguiente gráfica (Figura 9) se presenta el modelo seleccionado incorporado en el índice de competencia Daniels *et al.*, 1986 donde se aprecia gráficamente que a menor competencia el incremento en el área basal aumenta, caso contrario del otro extremo donde a mayor competencia el incremento en área basal tiende a disminuir, debido que los recursos son más escasos cada vez.



Figura 9. Gráfica de ajuste del modelo seleccionado en el incremento de área basal (IG) en función del IC5 (Daniels)

7. DISCUSIÓN

De acuerdo a literatura revisada se seleccionaron y probaron los mejores índices para evaluar la competencia, sin embargo el Índice de Hegyi siendo el mejor para determinar la relación competencia –crecimiento en otros trabajos, para este estudio no presento resultados que permitan describir la competencia, echo que concuerda con lo realizado por Crecente-Campo *et al.*, (2007) para *Pinus radiata* D. DON en Galicia, España.

Los modelos de incremento en área basal (IG) incorporados a los índices de competencia dependientes de la distancia presentaron valores de R^2 de hasta 0.52, y valores del error medio cuadrático de 0.000002. A pesar de ser ciertamente bajos, estos resultados son consistentes con otros estudios, ya que se encuentran dentro de los intervalos de valores de R^2 reportados para modelos de incremento en diámetro. Los índices de competencia dependientes de la distancia entre árboles resultaron adecuados para estimar el incremento en la especie estudiada, resultados que concuerdan a los obtenidos por Crecente-Campo (2007), quien encontró que estos índices de competencia presentaban un porcentaje muy bajo de reducción del error medio cuadrático. Resultados similares han sido reportados por Álvarez *et al.*, (2003), Biging y Dobertin (1995), Corral- Rivas *et al.*, (2005) y Vázquez (2006).

Cabe resaltar que los trabajos mencionados fueron realizados también para masas puras, en las cuales se avaluó la competencia entre individuos de la misma especie al igual que en el presente estudio.

Por otro lado los resultados obtenidos en este trabajo son relativamente bajos en comparación a los obtenidos por Nagel (2002) quien reporta valores del coeficiente de determinación de 0.31 a 0.81, Monserud y Sterba (1996) de 0.20 a 0.63, Andreassen y Tomter (2003) 0.26 a 0.55. De igual manera Hessenmöller (2001) obtuvo resultados entre 0 y 0.65. Álvarez *et al.*, (2003).

En un estudio más reciente realizado por Colín (2008) quien evaluó la influencia de la competencia en el crecimiento en diámetro normal de 5 especies en el Estado de Durango encontró que los modelos de crecimiento

pueden explicar hasta un 61% de la variabilidad observada, determino también que parte de la variación que no fue explicada por los modelos puede deberse a las diferencias en las condiciones del sitio donde ocurren estas especies.

8. CONCLUSIONES

La estimación del crecimiento de variables dasométricas en *Pinus pseudostrobus* Lindl. puede realizarse de forma confiable mediante índices de competencia dependientes de la distancia incluidos en un modelo de crecimiento forestal ya que muestran gran eficiencia para modelar la dinámica del bosque con respecto a la competencia ejercida dentro del rodal.

El índice de competencia **IC3** (Alemdag 1978) analizado mediante los dos criterios de selección utilizados fue el que presentó estadísticos confiables arrojando un R^2 que oscila entre 0.20 y 0.52% el cual explica significativamente la relación crecimiento- índice de competencia. Dicho índice determina estadística y gráficamente que a medida que los árboles alcanzan mayor competencia, el IG decrece y cuando la competencia es menor el IG incrementa.

El presente trabajo constituye una herramienta útil para la evaluación de índices de competencia, como base para posteriores trabajos de investigación de la dinámica del bosque de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

9. REFERENCIAS

- Alemdag P.G. (1978). Evaluation of some competition indices for the prediction of diameter increment in planted White spruce. F.Man. Ins.Inf.Rep.Fmr-x-108.39 pp.
- Álvarez, M.F.; Barrios, M; Gorgoso, J. y Álvarez, J.G. (2003). Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. Lugo España. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12(2): 25-35.
- Andenmatten, E. y F. Letourneau. (2002). Predicción y proyección del rendimiento de *Pino ponderosa* en las provincias de Chubut y Río Negro, Argentina. Ciencias Forestales. Quebracho N° 10.
- Andreassen, K., Tomter, S.M. (2003). Basal area growth models for individual trees of Norway spruce, Scots pine, birch and other broadleaves in Norway. For. Ecol. Manag. 180: 11-24.
- Biging G. S., Dobbertin M., A. (1992). Comparison of distance- dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees, For. Sci. 38 (3), 695-720.
- Biging G.D., Dobbertin M. (1995). Evaluation of competition indices in individual tree growth models. For.Sci 41 (2), 360-377.
- Braatne, P. (1980). Height increment of Young single trees in relation to height and distance of neighbouring trees. In: Schmidt-Haas and Johann: 43-47.
- Brand, D.G. and S. Magnussen. (1988). Asymmetric, two sided competition in even monocultures of red pine. Can. J. For. Res. 18:901-910.
- Castedo, F. y J. G. Álvarez. (2000). Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basado en una función de perfil del tronco. Invest. Agrar. Recur. For. 9 (2): 253-268.

- Colin, J. G. (2008). Influencia de la competencia en el Crecimiento en diámetro normal en los bosques de la Región Noroeste del Estado de Durango. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. 86 pp.
- Corral-Rivas, J. J., M. Barrio-Anta, O. A. Aguirre-Calderón and U. Diéguez-Aranda. (2007). Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volumen for major pine species in El Salto, Durango (México). *Forestry* 80 (1): 29 - 40.
- Corral-Rivas, J.J.; Alvarez, J.G.; Aguirre, O. y Hernandez, F.J. (2005). The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* blanco in Durango (Mexico). *Eur.J. Fores Res.* 124.133-142-.
- Crecente-Campo F. (2007). Elaboración de un modelo de incremento en diámetro para *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Universidad de Compostela.
- Curtis, R. O. 1970. Stand density measures: an interpretation. *Forest Sci.* 16(4): 403-414
- Daniels R.F., Burkhardt H.E., Clason T.R. (1986). A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Can.J.For.Res.* 16, 1230-1237.
- Daniels, R.F. (1976). Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth. *For. Sci.* 22:b 454-456.
- De los Ríos, C. E. (2003). Evaluación de captura de carbono en plantaciones del género *Pinus* en el noroeste de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. 101 p.
- Diéguez A., U., M. Barrio A., F. Castedo D. y M. Balboa M. (2003). Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones

- del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12 (2): 131-139
- Estrada Castellón, A. E., Villareal Quintanilla, J. A., Salinas Rodríguez, M. M., Cantú Ayala, C. M., González Rodríguez, H y Jiménez Pérez, J. (2014). Coníferas de Nuevo León, México. Primera Edición. 145(1). 126-128.
- Ford, E.D. y Diggle, P.J. (1981). Competition fir kught up a plant monoculture modeled as a spatial stochastic process. Ann, Bot. 48:481-500.
- Gadow, K. V. and G. Hui. (1999). Modelling forest development. Kluwer Academic Publishers. AH. Dordrecht. The Netherlands. 205 p.
- Gadow, K. V., P. Real. y J. G: Álvarez G. (2001). Modelización del Crecimiento y la Evolución de Bosques. IUFRO World Series Vol. 12.
- García, O. (1994). The state-space approach in modeling. Can. J. For. Res. 24: 1984–1926.
- Hegyí F. (1974). A simulation model for managing jackpine stands. Growth Models for Tree and Stand Simulation Proc. IUFRO Meeting S4.01.04, Royal College of For restry, Stocklm. pp 74-90.
- Hessenmöller, D. (2001). Modelle zur Wachstums-und Durchforstungssimulation im Göttinger Kalkbuchenwald. Diss. Forstliche Fakultät, Göttingen. 163 S.
- Jerez, R. M., V. Lawrence y A. Moret Y. (1999). Un modelo de competencia para las plantaciones de teca del área experimental de la reserva forestal Cáparo (Barinas-Venezuela). Universidad de Los Andes. Forestal Venezolana. 43 (2) 157-171.
- López, H. J. A. (2003). Evaluación y validación de modelos de índice de sitio para *Pinus durangensis* Martínez en el Municipio de San Dimas, Durango. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Durango, México. 87p

- Monserud, R.A. y Sterba, H. (1996). A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *For. Ecol. Manage.* 80(1-3):57-80.
- Munro D.D. (1974). Forest growth models – a prognosis. Growth models for tree and stand simulation. Proc. IUFRO meeting S4.01.04, Royal College of Forestry, Stockholm, Research Notes, Nr. 30, 7-21.
- Nagel, J.; Albert, M. y Schmidt, M. (2002). Das waldbauliche Prognose- und Entscheidungsmodell BWINPro 6.1. *Forst. U Holz.* 57:486-493.
- O’Neal, D. D., Houston, A. E., Buckner, E. R. and Meadows, J. S. (1994). An index of competition based on relative crown position and size. *Silvicultural Research Conference*, Auburn, AI, Nov. 1-3.
- Oliver, C. D., C. Larson B. (1990). *Forest stand dynamics*. McGraw Hill. New York. 467 p.
- Pimienta De la T. D. J. (2005). Competencia y dinámica de bosques de pino en Durango, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. 56 p.
- Torres-Rojas J. M. (2000). El área de ocupación promedio: Una medida de competencia independiente de la distancia. *Agrociencia* 34: 485-495.
- Valadez, C. R. C. (2004). Evaluación de índices de competencia independientes de la distancia para predecir el crecimiento de especies mezcladas en San Dimas, Durango. Tesis Profesional. Universidad Juárez del Estado de Durango. Escuela de Ciencias Forestales. Durango, México. 63 pp.
- Valles, G. A. G., Islas G. F. (2000). Sistemas de ecuaciones del simulador del crecimiento maderable para la región de San Dimas, Durango. “Sicremars versión 1.0”. Inifap. México. 55 pp.

- Vancly, J. K. (1995). Growth models for tropical forest: A synthesis of models and methods. *Forest Science*. 40 (1):7-42.
- Vázquez J., Lago J. y A. González. (2003). INCO: Programa para el cálculo de índices de competencia de especies forestales. Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva. España.
- Vázquez, E. (2006). Estudio comparativo de diferentes índices de competencia para *Pinus radiata* D. Don en Galicia, y su relación con el crecimiento en sección. Proyecto Fin de Carrera. E. P. S. Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.
- Waring, R. H., and Running, S. W. (1998). *Forest ecosystems. Analysis at multiple scales*. Academic Press Co. San Diego, CA, USA. 370 P.
- Zepeda B., E.M. (1990). "Predicción de rendimientos maderables probables de *Pinus patula* Schiede y Deppe de Perote Ver. México". Tesis de Maestría. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 331 pp.